

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09307156 A

(43) Date of publication of application: 28 . 11 . 97

(51) Int. Cl.  
H01L 43/08  
H01F 10/08  
H01L 43/10

(21) Application number: 08120249

(71) Applicant: SANYO ELECTRIC CO LTD

(22) Date of filing: 15 . 05 . 96

(72) Inventor: YAMAMOTO TETSUYA

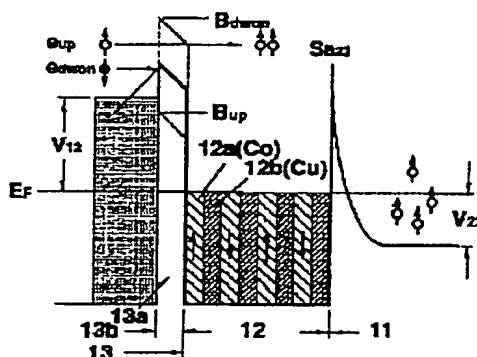
(54) MAGNETORESISTANCE DEVICE

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve rate of change of magnetoresistance of an operation region in a magnetoresistance device provided with a transistor with an operation region having GMR(giant magnetoresistance) effect and improve sensitivity in a magnetic field sensor wherein a magnetoresistance device is used.

SOLUTION: A magnetoresistance device has a first operation region 12 with GMR effect and a second operation region 13 for injecting spin polarization electron having a spin polarization direction in one direction of spin directions of electron showing magnetism of the first operation region 12 selectively to the first operation region 12. The second operation region 13 is formed of a non-magnetic metallic body region 13b for injecting spin polarization electron and a potential barrier region 13a for selecting and injecting spin polarization electron with a spin polarization direction in a specified direction.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-307156

(43) 公開日 平成9年(1997)11月28日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 43/08			H 0 1 L 43/08	Z
H 0 1 F 10/08			H 0 1 F 10/08	
H 0 1 L 43/10			H 0 1 L 43/10	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-120249

(22) 出願日 平成8年(1996)5月15日

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 山本 哲也

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内

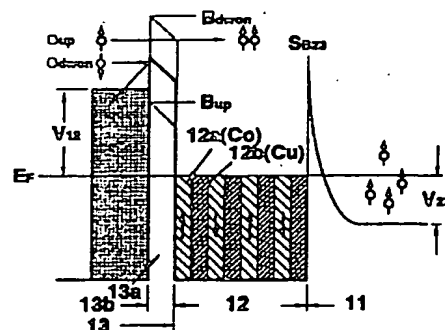
(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗デバイス

(57) 【要約】

【課題】 GMR (巨大磁気抵抗) 効果を有する動作領域を持つトランジスタを備えた磁気抵抗デバイスにおいて、動作領域の磁気抵抗の変化率を向上する。前記磁気抵抗デバイスを利用する磁場センサにおいて、感度を向上する。

【解決手段】 磁気抵抗デバイスにおいて、GMR効果を有する第1動作領域12と、第1動作領域12の磁性を示す電子のスピン方向の一方の方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に第1動作領域12に注入する第2動作領域13と、を備える。第2動作領域13はスピン偏極電子を注入する非磁性金属体領域13b及び特定方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択し注入するポテンシャルバリア領域13aで形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気抵抗を有する第1動作領域と、  
前記第1動作領域の磁性を示す電子のスピン方向の一方  
の方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的  
に前記第1動作領域に注入する第2動作領域と、  
を備えたことを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項2】 前記請求項1に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第1動作領域は、複数の強磁性金属体領域、複数の  
非磁性金属体領域のそれぞれを交互に配列した金属超格  
子薄膜で形成されたことを特徴とする磁気抵抗デバ  
イス。

【請求項3】 前記請求項2に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第1動作領域の強磁性金属体領域／非磁性金属体領  
域は、Co/Cu、Co/Ag、Fe/Cu、Fe/C  
r、Ni/Ag、NiFe/Cuのいずれかで形成され  
ることを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項4】 前記請求項3に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第2動作領域は、  
互いに異なるスピン偏極方向を持つ複数のスピン偏極電  
子を注入する非磁性金属体領域又は半導体領域と、  
前記非磁性金属体領域又は半導体領域から第1動作領域  
に前記特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子  
を選択的に注入するポテンシャルバリア領域と、  
を備えたことを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項5】 前記請求項4に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第2動作領域のポテンシャルバリア領域は、強磁性  
絶縁体領域又は強磁性半導体領域で形成されたことを特  
徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項6】 前記請求項5に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第2動作領域の非磁性金属体領域はAu、Ag、A  
l、Cuのいずれかで形成され、  
前記ポテンシャルバリア領域の強磁性絶縁体領域はEu  
S、EuOのいずれか、強磁性半導体領域はEuB<sub>6</sub>で  
形成されることを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項7】 前記請求項1に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第1動作領域は、 $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  ( $0.1$   
 $6 < x < 0.50$ )、 $Pr_{1-x}Ca_xMnO_3$ 、Nd  
 $0.5Sr_{0.5}MnO_3$ 、 $(La_{0.068}Sn_{0.937})_{1/2}$   
 $Sr_{1/2}MnO_3$  のいずれかのペロブスカイト結晶構造  
を有するMn酸化物で形成され、

前記第2動作領域は、互いに異なるスピン偏極方向を持  
つ複数のスピン偏極電子を前記第1動作領域に注入する  
 $La_{1-x}Sr_{1-x}TiO_3$  からなる半導体領域と、前記  
半導体領域から第1動作領域に前記特定方向のスピン偏

極電子を選択的に注入する $La_{1-x}Sr_xMnO$

<sub>3</sub> ( $0.09 < x < 0.16$ ) からなる強磁性絶縁体領  
域のポテンシャルバリア領域とで形成されることを特徴  
とする磁気抵抗デバイス。

【請求項8】 前記請求項3に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第2動作領域は、

特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択  
的に前記第1動作領域に注入する強磁性金属体領域と、  
前記強磁性金属体領域から第1動作領域に注入される前  
記特定方向のスピン偏極電子の注入量を制御するポテン  
シャルバリア領域と、  
を備えたことを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項9】 前記請求項8に記載された磁気抵抗デバ  
イスにおいて、

前記第2動作領域の強磁性金属体領域はFe、Co、N  
iのいずれかで形成され、

前記ポテンシャルバリア領域はMgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のい  
ずかの非磁性絶縁体領域、又はEuS、EuOのいずれ  
かの強磁性絶縁体領域で形成されることを特徴とする磁  
気抵抗デバイス。

【請求項10】 前記請求項2又は請求項8に記載され  
た磁気抵抗デバイスにおいて、

前記第1動作領域には前記第2動作領域から第1動作領  
域に注入されたスピン偏極電子を収集する第3動作領域  
が接合されることを特徴とする磁気抵抗デバイス。

【請求項11】 前記請求項10に記載された磁気抵抗  
デバイスにおいて、

前記第3動作領域はSi、GaAs、InAs、La  
 $1-xSr_xMnO_3$  のいずれかの半導体領域で形成され  
ることを特徴とする磁気抵抗デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗デバイス  
に関し、特に金属人工格子の巨大磁気抵抗 (Giant M  
agnetoresistance : 以下、単にGMRという。) 効  
果を利用した磁気抵抗デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】磁場センサとしての応用が期待される、  
GMR効果を利用したスピンバルブトランジスタ (The  
Spin Valve Transistor) の研究が注目されてい  
る (例えば、D. J. Monsma et al., Phys. Rev. L  
ett. 74 (1995), pp. 5260. )。図10は従来技術に係るス  
ピンバルブトランジスタの断面構造図である。図10に  
示すように、スピンバルブトランジスタはコレクタ領域  
1、ベース領域2、エミッタ領域3を順次積層した、S  
iバイポーラトランジスタに類似する3端子構造で構成  
される。図中、符号V<sub>eb</sub>はエミッタ領域－ベース領域間  
電圧、符号V<sub>bc</sub>はベース領域－コレクタ領域間電圧であ  
る。ベース領域2は複数の強磁性金属体領域2aと複数

の非磁性金属体領域2bとがそれぞれ交互に配列された金属人工格子薄膜で形成され、この金属人工格子薄膜はGMR効果を有する。強磁性金属体領域2aはCoで形成され、非磁性金属体領域2bはCuで形成される。同図に示すスピンバルブトランジスタにおいては、ベース領域2の強磁性金属体領域2a、非磁性金属体領域2bがそれぞれ上方向に向かって積層され、これらの積層膜に対して垂直方向に電流を流すCPP (Current Perpendicular to the Plane) 構造が採用される。コレクタ領域1は半導体領域例えばSiで形成され、エミッタ領域3は同様に半導体領域で形成される。

【0003】図11は前記スピンバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図である。エミッタ領域3とベース領域2との間の接合界面にはショットキーバリアSBEBが形成される。ベース領域2とコレクタ領域1との間の接合界面にはショットキーバリアSBBCが形成される。フェルミ準位 $E_F$ からの障壁高さはショットキーバリアSBEBにおいて0.7eV、ショットキーバリアSBBCにおいて0.6eVにそれぞれ設定される。エミッタ領域3の電子(注入キャリア)はホットエレクトロン(hot electron)としてエミッタ領域3-ベース領域2間のショットキーバリアSBEBを通してベース領域2に注入される。ベース領域2においては、複数の強磁性金属体領域2aにおいて磁性を示す電子のスピンの配列の仕方に応じてベース領域2を流れる電子の散乱の仕方が変化する。このベース領域2を流れる電子の散乱の仕方の変化はベース抵抗の変化として表わされる。強磁性金属体領域2aであるCo原子の3d軌道に位置する電子は磁性を示す電子であり、この3d軌道に位置する電子のスピンの方向に応じてベース抵抗が変化する。エミッタ領域1からベース領域2に注入された電子はベース領域2を通過し、この通過した電子はベース領域2-コレクタ領域1間のショットキーバリアSBBCを通してコレクタ領域1に注入される。

【0004】前記強磁性金属体領域2aの電子のスピンの方向は外部磁場を与えることにより制御できる。すなわち、外部磁場が存在するとベース抵抗が変化する。このベース抵抗の変化をコレクタ電流の変化として検出することにより外部磁場が検知できる。スピンバルブトランジスタはこのような磁場センサとしての応用が期待される。コレクタ電流の相対的な変化率が大きいほど磁場センサは高感度になり、現在報告されている磁場センサにおいてコレクタ電流の相対的な変化率は250%にも達している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術に係るスピンバルブトランジスタにおいては、ベース領域2の強磁性金属体領域2aの電子のスピンの方向に対して、エミッタ領域3からベース領域2に様々なスピン偏極方向を持つ電子が注入される。このため、ベース領

域2においてベース抵抗の変化率が小さく、コレクタ電流の相対的な変化率が十分に得られないので、高感度の磁場センサが実現できない、という課題があった。

【0006】本発明は上記課題を解決するためになされたものである。従って、本発明の目的は、GMR効果を有する動作領域を持つトランジスタを備えた磁気抵抗デバイスにおいて、前記動作領域の磁気抵抗の変化率を向上することにある。さらに、本発明の目的は、前記磁気抵抗デバイスを利用する磁場センサにおいて、感度を向上することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、請求項1に記載された発明は、磁気抵抗デバイスにおいて、磁気抵抗を有する第1動作領域と、前記第1動作領域の磁性を示す電子のスピンの方向の一方の方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に前記第1動作領域に注入する第2動作領域と、を備えたことを特徴とする。請求項1に記載された発明においては、特定方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子が第2動作領域から磁気抵抗を有する第1動作領域に選択的に注入される。第1動作領域の電子(磁性を示す電子)のスピンの方向と第2動作領域から第1動作領域に注入されるスピン偏極電子のスピンの方向とが一致する(双方のスピンの方向が平行になる)ことにより、第1動作領域を流れる注入されたスピン偏極電子の散乱は減少し、第1動作領域の抵抗は減少する。一方、第1動作領域の電子のスピンの方向に変化を与え、第1動作領域の電子のスピンの方向と注入されたスピン偏極電子のスピンの偏極方向とが不一致(双方のスピンの方向が反平行になる)の場合には、第1動作領域を流れる注入されたスピン偏極電子の散乱が顕著になり、第1動作領域の抵抗は増大する。従って、第1動作領域の電子のスピンの方向に対してスピン偏極電子のスピンの偏極方向を一致させた場合と不一致の場合との間に大きな抵抗変化が実現できる。第1動作領域の電子のスピンの方向は外部磁場によって変化するので、逆に第1動作領域の抵抗変化を測定することにより外部磁場が測定でき、高感度の磁場センサが実現できる。

【0008】請求項2に記載された発明は、前記請求項1に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第1動作領域が複数の強磁性金属体領域、複数の非磁性金属体領域のそれぞれを交互に配列した金属超格子薄膜で形成されたことを特徴とする。

【0009】請求項3に記載された発明は、前記請求項2に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第1動作領域の強磁性金属体領域/非磁性金属体領域がCo/Cu、Co/Ag、Fe/Cu、Fe/Cr、Ni/Ag、NiFe/Cuのいずれかで形成されることを特徴とする。

【0010】請求項4に記載された発明は、前記請求項3に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第2動

作領域が、互いに異なるスピン偏極方向を持つ複数のスピン偏極電子を注入する非磁性金属体領域又は半導体領域と、前記非磁性金属体領域又は半導体領域から第1動作領域に前記特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に注入するポテンシャルバリア領域と、を備えたことを特徴とする。前記請求項4に記載された発明においては、第2動作領域の非磁性金属体領域又は半導体領域から第1動作領域に注入されるスピン偏極電子のうち、特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子が第2動作領域のポテンシャルバリア領域により選択的に注入される。第2動作領域のポテンシャルバリア領域は特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子のみを、又は特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を特定方向以外のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子に比べて多量に注入する機能を備える。

【0011】請求項5に記載された発明は、前記請求項4に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第2動作領域のポテンシャルバリア領域は、強磁性絶縁体領域又は強磁性半導体領域で形成されたことを特徴とする。前記請求項5に記載された発明においては、ポテンシャルバリア領域の強磁性絶縁体又は強磁性半導体は前記第2動作領域の非磁性金属体領域又は半導体領域から第1動作領域に注入されるスピン偏極電子のスピン偏極方向に応じてポテンシャルバリア領域の障壁高さ（バリアハイト）が変化する。例えば、注入されるスピン偏極電子のスピン偏極方向が上向きであるアップスピン偏極電子の場合には、このアップスピン偏極電子のスピン偏極方向に対応してポテンシャルバリア領域の障壁高さが低くなる。従って、第2動作領域から第1動作領域にはアップスピン偏極電子が選択的に注入される。また、注入されるスピン偏極電子のスピン偏極方向が下向きであるダウンスピン偏極電子の場合には、このダウンスピン偏極電子のスピン偏極方向に対応してポテンシャルバリア領域の障壁高さが高くなる。ダウンスピン偏極電子においては第2動作領域から第1動作領域への注入が抑制又は阻止される。すなわち、スピンフィルタ効果が実現できる。

【0012】請求項6に記載された発明は、前記請求項5に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第2動作領域の非磁性金属体領域はAu、Ag、Al、Cuのいずれかで形成され、前記ポテンシャルバリア領域の強磁性絶縁体領域はEuS、EuOのいずれか、強磁性半導体領域はEuB<sub>6</sub>で形成されることを特徴とする。

【0013】請求項7に記載された発明は、前記請求項1に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第1動作領域が、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $0.16 < x < 0.50$ )、 $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ 、 $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ 、 $(\text{La}_{0.068}\text{Sn}_{0.937})_{1/2}\text{Sr}_{1/2}\text{MnO}_3$  のいずれかのペロブスカイト結晶構造を有するMn酸化物で形成され、前記第2動作領域が、互いに異

なるスピン偏極方向を持つ複数のスピン偏極電子を前記第1動作領域に注入する $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ からなる半導体領域と、前記半導体領域から第1動作領域に前記特定方向のスピン偏極電子を選択的に注入する $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $0.09 < x < 0.16$ )からなる強磁性絶縁体領域のポテンシャルバリア領域とで形成されることを特徴とする。前記請求項7に記載された発明においては、複数の強磁性金属体領域と複数の非磁性金属体領域とを交互に配列した人工的な金属超格子薄膜に対して、Mn酸化物の結晶構造自体が磁気抵抗を有し、このMn酸化物により第1動作領域が形成できる。Mn酸化物はペロブスカイト結晶構造を有しているので、このMn酸化物からなる第1動作領域には同様なペロブスカイト結晶構造を有する第2動作領域の半導体領域、強磁性絶縁体領域（ポテンシャルバリア領域）が順次エピタキシャル成長により成膜できる（逆方向の成膜も可能である。）。従って、磁気抵抗デバイスの動作領域がすべて同様の結晶構造で形成できる。特に、磁気抵抗デバイスの製造プロセスにおいては同一の結晶成長室内で動作領域のすべてが形成できるので、それぞれの動作領域の膜質の向上、膜厚の制御、結晶構造の制御、動作領域間の接合状態の向上等が容易に実現でき、安定した磁気抵抗特性が得られるとともに優れた磁気抵抗特性を有する磁気抵抗デバイスが実現できる。

【0014】請求項8に記載された発明は、前記請求項3に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第2動作領域が、特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に前記第1動作領域に注入する強磁性金属体領域と、前記強磁性金属体領域から第1動作領域に注入される前記特定方向のスピン偏極電子の注入量を制御するポテンシャルバリア領域と、を備えたことを特徴とする。前記請求項8に記載された発明においては、第2動作領域の強磁性金属体領域に存在するスピン偏極電子のスピン偏極方向は特定方向に限られるので、この特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子が第2動作領域のポテンシャルバリア領域による障壁高さの制御により第1動作領域に注入できる。第2動作領域のポテンシャルバリア領域はスピン偏極電子の注入量を制御する単なる障壁としての機能を備えていればよいので、ポテンシャルバリア領域の材料選択範囲が拡張される。

【0015】請求項9に記載された発明は、前記請求項8に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第2動作領域の強磁性金属体領域がFe、Co、Niのいずれかで形成され、前記ポテンシャルバリア領域が $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ のいずれかの非磁性絶縁体領域、又はEuS、EuOのいずれかの強磁性絶縁体領域で形成されることを特徴とする。

【0016】請求項10に記載された発明は、前記請求項2又は請求項8に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第1動作領域には前記第2動作領域から第1動

作領域に注入されたスピン偏極電子を収集する第3動作領域が接合されることを特徴とする。

【0017】請求項11に記載された発明は、前記請求項10に記載された磁気抵抗デバイスにおいて、前記第3動作領域がSi、GaAs、InAs、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ のいずれかの半導体領域で形成されることを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態である磁気抵抗デバイスについて、図面を参照し説明する。

【0019】実施形態1

<トランジスタの構造>図1は本発明の実施形態1に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピンバルブトランジスタの断面構造図である。図1に示すように、スピンバルブトランジスタは第3動作領域11、第1動作領域12、第2動作領域13を順次積層した3端子構造で構成される。図中、符号V1は第1動作領域-第2動作領域間電圧、符号V12は第1動作領域-第2動作領域間電圧である。符号V2は第2動作領域-第3動作領域間電圧である。符号V23は第2動作領域-第3動作領域間電圧である。

【0020】前記第1動作領域12は複数の強磁性金属体領域12aと複数の非磁性金属体領域12bとがそれぞれ交互に配列された金属人工格子薄膜で形成され、この金属人工格子薄膜はGMR効果を有する。同図に示すスピンバルブトランジスタにおいては、第1動作領域12の強磁性金属体領域12a、非磁性金属体領域12bがそれぞれ上方向に向かって積層され、これらの積層膜に対して垂直方向に電流を流すCPP構造が採用される。本実施形態において、強磁性金属体領域12aはCoで形成され、非磁性金属体領域12bはCuで形成される。Co/Cuで形成される金属人工格子薄膜は現在最も抵抗変化率が高い材料の組み合わせとして知られている。本実施形態において、Coは例えば4層の薄膜で形成され、それぞれのCo薄膜は1.5nm程度の膜厚で形成される。Cuは例えばCoと同様の層数である4層の薄膜で形成され、それぞれのCu薄膜は2.0nmで形成される。つまり、第1動作領域12は4層のCo薄膜、4層のCu薄膜のそれぞれを交互に重ね合わせた合計8層の薄膜で形成され、第1動作領域12の合計の寸法は14nmで形成される。強磁性金属体領域12aはGMR効果を示すので膜厚、層数は重要な要素であるが、強磁性金属体領域12aの膜厚、層数及び前述の非磁性金属体領域12bの膜厚、層数はいずれも前述の例に限定されない。さらに、第1動作領域12の強磁性金属体領域12aと非磁性金属体領域12bとの材料の組み合わせとしては、他にCo/Ag、Fe/Cu、Fe/Cr、Ni/Ag、NiFe/Cuのいずれかが使用できる。

【0021】前記第2動作領域13は前記第1動作領域

12の強磁性金属体領域12aの磁性を示す電子(3d軌道の電子)のスピン方向の一方の方向にスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に前記第1動作領域12に注入する機能を備える。この第2動作領域13は非磁性金属体領域13b及びポテンシャルバリア領域(トンネルバリア領域)13aで形成される。

【0022】図2は前記スピンバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図である。第2動作領域13の非磁性金属体領域13bは互いに異なるスピン偏極方向を持つ複数のスピン偏極電子を前記第1動作領域12に注入する。同図に示すように、非磁性金属体領域13bから第1動作領域12にはスピン偏極方向が上向きであるアップスピン偏極電子 $e_{up}$ 及びスピン偏極方向が下向きであるダウンスピン偏極電子 $e_{dwn}$ が注入される。本実施形態において非磁性金属体領域13bはAuで形成される。また、非磁性金属体領域13bとしては他にAg、Al、Cuのいずれかが使用できる。

【0023】前記第2動作領域13のポテンシャルバリア領域13aは第1動作領域12と第2動作領域13の非磁性金属体領域13bとの間に形成される。このポテンシャルバリア領域13aは非磁性金属体領域13bから第1動作領域12に前記特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に注入する。ポテンシャルバリア領域13aは強磁性絶縁体領域又は強磁性半導体領域で形成される。強磁性絶縁体領域又は強磁性半導体領域で形成されるポテンシャルバリア領域13aは、図2に示すように、第2動作領域13の非磁性金属体領域13bから第1動作領域12に注入されるスピン偏極電子のスピン偏極方向に応じてポテンシャルバリア領域13aの障壁高さ(バリアハイト)が変化する。例えば、注入されるスピン偏極電子がアップスピン偏極電子 $e_{up}$ の場合には、このアップスピン偏極電子 $e_{up}$ に対応してポテンシャルバリア領域13aの障壁高さ $B_{up}$ は低くなる。従って、第2動作領域13から第1動作領域12にはアップスピン偏極電子 $e_{up}$ が選択的に(アップスピン偏極電子 $e_{up}$ のみが、又アップスピン偏極電子 $e_{up}$ がダウンスピン偏極電子 $e_{dwn}$ に比べて多量に)注入される。また、注入されるスピン偏極電子がダウンスピン偏極電子 $e_{dwn}$ の場合には、このダウンスピン偏極電子 $e_{dwn}$ のスピン偏極方向に対応してポテンシャルバリア領域13aの障壁高さ $B_{dwn}$ は高くなる。ダウンスピン偏極電子 $e_{dwn}$ においては第2動作領域13から第1動作領域12への注入が抑制又は阻止される。すなわち、ポテンシャルバリア領域13aにおいてスピンフィルタ効果を実現できる。本実施形態において、ポテンシャルバリア領域13aの強磁性絶縁体領域はEuSで形成される。また、強磁性絶縁体領域としては他にEuOが使用でき、さらに強磁性半導体領域としてはEuB<sub>6</sub>が使用できる。

【0024】前記第3動作領域11においては第2動作

領域13から第1動作領域12に注入されたスピン偏極電子（アップスピン偏極電子 $e_{up}$ ）が注入される。図2に示すように、第1動作領域12と第3動作領域11との間はショットキーバリア領域 $S_{B23}$ を介して接合される。本実施形態において第3動作領域11は半導体領域、具体的にはSiで形成される。また、第3動作領域としては他の半導体領域としてGaAs、InAsのいずれかが使用できる。

【0025】＜動作原理＞前述のスピンバルブトランジスタの動作原理は以下の通りである。図2に示すように、第2動作領域13の非磁性金属体領域13bから第1動作領域12にアップスピン偏極電子 $e_{up}$ 及びダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ が注入されようとする。アップスピン偏極電子 $e_{up}$ に対して第2動作領域13のポテンシャルバリア領域13aの障壁高さ $B_{up}$ は低くなるので、第1動作領域12にはアップスピン偏極電子 $e_{up}$ が注入される。一方、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ に対してポテンシャルバリア領域13aの障壁高さ $B_{down}$ は高くなるので、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ の注入は抑制され又は阻止される。すなわち、ポテンシャルバリア領域13aのスピンフィルタ効果によりアップスピン偏極電子 $e_{up}$ が第1動作領域に選択的に注入される。

【0026】第1動作領域12に注入されたアップスピン偏極電子 $e_{up}$ は強磁性金属体領域12a及び非磁性金属体領域12bで形成された金属超格子薄膜を通過する際にGMR効果により強磁性金属体領域12aの磁性を示す電子（3d軌道の電子）のスピン方向に応じて抵抗が大きく変化する。図1に示すように、第1動作領域（金属超格子薄膜）12に外部磁場Hを印加し強磁性金属体領域12aの電子のスピン方向に変化を与えることにより、第1動作領域12に流れる電流が変調され、第3動作領域11から取り出される電流が変調される。また、逆に、第1動作領域に流れる電流変化を検出することにより、外部磁場Hの検出が行える。

【0027】＜第1動作領域の抵抗変化＞図3（A）は従来技術に係るスピンバルブトランジスタの抵抗変化を説明するベース領域2の概略構成図である。図3（A）に示すように、スピンバルブトランジスタのベース領域2に外部磁場Hが印加されない場合には、最も安定なエネルギー状態が確保され、強磁性金属体領域2aの磁性を示す電子のスピン方向がアップスピン状態の電子 $s_{12up}$ とダウンスピン状態の電子 $s_{12down}$ とが強磁性金属体領域2aの配列方向に沿って交互に存在する（反平行状態）。従来技術に係るスピンバルブトランジスタにおいては、エミッタ領域3からベース領域2にはエミッタ領域3のアップスピン偏極電子 $e_{up}$ 、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ がいずれも注入される。エミッタ領域3のスピン偏極電子のスピン偏極方向とベース領域2の強磁性金

属体領域2aの磁性を示す電子のスピン方向とが互いに一致する場合の抵抗（低抵抗）を $R_1$ 、不一致の場合の抵抗（高抵抗）を $R_2$ とすると、アップスピン偏極電子 $e_{up}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

【0028】

$$R_1 + R_2 + R_1 + R_2 = 2(R_1 + R_2)$$

また、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

【0029】

$$R_2 + R_1 + R_2 + R_1 = 2(R_1 + R_2)$$

従って、ベース領域2の全抵抗 $R_{AP}$ は以下の通り求められる。

【0030】

【数1】

$$\frac{1}{R_{AP}} = \frac{1}{2(R_1 + R_2)} + \frac{1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$R_{AP} = R_1 + R_2 \quad (1)$$

20 一方、スピンバルブトランジスタのベース領域2に外部磁場Hが印加された場合には、外部磁場Hにより強磁性金属体領域2aのアップスピン状態の電子 $s_{12up}$ （又はダウンスピン状態の電子 $s_{12down}$ ）だけが存在する（平行状態）。従来技術に係るスピンバルブトランジスタにおいては、エミッタ領域3からベース領域2にエミッタ領域3のアップスピン偏極電子 $e_{up}$ 、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ がいずれも注入されるので、同様にアップスピン偏極電子 $e_{up}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

$$30 \quad [0031] \quad R_1 + R_1 + R_1 + R_1 = 4R_1$$

また、ダウンスピン偏極電子 $e_{down}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

$$[0032] \quad R_2 + R_2 + R_2 + R_2 = 4R_2$$

従って、ベース領域2の全抵抗 $R_P$ は以下の通り求められる。

【0033】

【数2】

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{4R_1} + \frac{1}{4R_2} = \frac{R_1 + R_2}{4R_1 R_2}$$

$$40 \quad R_P = \frac{4R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

スピンバルブトランジスタのベース領域2に外部磁場Hが印加されない反平行状態と外部磁場Hが印加された平行状態との間の抵抗変化 $\Delta R$ は以下の通り求められる。

【0034】

【数3】

$$\Delta R = \frac{R_{AP} - R_P}{R_{AP}} = \frac{R_1 + R_2 - \frac{4R_1R_2}{R_1 + R_2}}{R_1 + R_2} = \frac{(R_1 + R_2)^2 - 4R_1R_2}{(R_1 + R_2)^2} \\ = \left( \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 \quad (3)$$

ここで、式(3)に例えば低抵抗 $R_1$ として1、高抵抗 $R_2$ として10( $R_2=10R_1$ )をそれぞれ代入すると、抵抗変化 $\Delta R$ は約67%になる。

【0035】図3(B)、図3(C)はそれぞれ本実施形態に係るスピバルブトランジスタの抵抗変化を説明する第1動作領域12の概略構成図である。図3(B)に示すように、本実施形態に係るスピバルブトランジスタの第1動作領域12に外部磁場Hが印加されない反平行状態の場合において、第2動作領域13から第1動作領域12には第2動作領域の非磁性金属体領域13bのアップスピン偏極電子 $e_{up}$ だけがポテンシャルバリア領域13aにより選択的に注入される。従って、アップスピン偏極電子 $e_{up}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

【0036】 $R_{AP}=2(R_1+R_2)$

一方、スピバルブトランジスタの第1動作領域12に外部磁場Hが印加された場合には、外部磁場Hにより強磁性金属体領域12aのアップスピン状態の電子 $s_{12up}$ だけが存在する(平行状態)。同様に本実施形態に係るスピバルブトランジスタにおいては、第2動作領域13から第1動作領域12に第2動作領域13の非磁性金属体領域13bのアップスピン偏極電子 $e_{up}$ が選択的に注入されるので、アップスピン偏極電子 $e_{up}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

【0037】 $R_P=4R_1$

スピバルブトランジスタの第1動作領域12に外部磁場Hが印加されない反平行状態と外部磁場Hが印加された平行状態との間の抵抗変化 $\Delta R$ は以下の通り求められる。

【0038】

【数4】

$$\Delta R = \frac{R_{AP} - R_P}{R_{AP}} = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \quad (4)$$

ここで、式(4)に同様な値、例えば低抵抗 $R_1$ として1、高抵抗 $R_2$ として10をそれぞれ代入すると、抵抗変化 $\Delta R$ は約81%になり、大きな抵抗変化が得られる。

【0039】さらに、図3(C)に示すように、本実施形態に係るスピバルブトランジスタの第1動作領域12に外部磁場Hが印加された平行状態から外部反転磁場 $H'$ が印加された反平行状態の場合においては、第2動作領域13から第1動作領域12に第2動作領域13の非磁性金属体領域13bのアップスピン偏極電子 $e_{up}$ だ

けがポテンシャルバリア領域13aにより選択的に注入されるので、アップスピン偏極電子 $e_{up}$ の通過経路においては下記の抵抗が発生する。

【0040】 $R_{AP}=4R_2$

スピバルブトランジスタの第1動作領域12に外部磁場Hが印加された平行状態と外部反転磁場 $H'$ が印加された反平行状態との間の抵抗変化 $\Delta R$ は以下の通り求められる。

【0041】

【数5】

$$\Delta R = \frac{R_P - R_{AP}}{R_P} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \quad (5)$$

20 ここで、式(5)に同様に低抵抗 $R_1$ として1、高抵抗 $R_2$ として10をそれぞれ代入すると、抵抗変化 $\Delta R$ は約90%になり、さらに大きな抵抗変化が得られる。

【0042】<第1動作領域の非磁性金属体領域の厚さ>図4(A)は第1動作領域12の強磁性金属体領域12aと非磁性金属体領域12bとの配列状態を示す概略構成図である。強磁性金属体領域12aはCo薄膜、非磁性金属体領域12bはCu薄膜であり、Co/Cu金属超格子薄膜である。Cu薄膜の膜厚dが変化すると、複数のCo薄膜のそれぞれの磁性を示す電子間に働く相互作用が変化し(磁性を示す電子のスピ方向が変化し)、Co薄膜の磁性を示す電子の安定なスピ方向の配列状態が変化する。隣接し配列されるCo薄膜のそれぞれの磁性を示す電子間にフェロー(ferro)的相互作用が働くと、それぞれの電子のスピ方向は一致し平行に揃う。逆に、磁性を示す電子間にアンチフェロー(anti ferro)的相互作用が働くと、それぞれの電子のスピ方向は反平行に揃う。

【0043】図4(B)はCo薄膜の磁性を示す電子間に働く相互作用を実験的に求めた結果を示す図である。図4(B)中、横軸はCu薄膜の膜厚(nm)を示し、縦軸は磁気抵抗レシオ(%)を示す。大きな抵抗変化(GMR効果)を実現するにはCo薄膜の磁性を示す電子のスピ方向が反平行状態の配列(AF: anti ferro)が望ましい。従って、同図4(B)に示すように、Cu薄膜の膜厚は約1.0nm、2.0nm、3.5nmのいずれかに設定することが望ましい。

【0044】<ポテンシャルバリア領域のバリア形状>本実施形態に係るスピバルブトランジスタにおいて、第2動作領域13のポテンシャルバリア領域13aは非磁性金属体領域13bのアップスピン偏極電子 $e_{up}$ を選



択的に第1動作領域12に注入するとともにダウンスピン偏極電子 $e_{\text{down}}$ の注入を制限する機能を備える。本発明者が行った実験結果に基づき理想的なポテンシャルバリア領域13aの形状について説明する。図5はポテンシャルバリア領域13aの形状を示す部分的なエネルギーバンド構造図である。実験には、ポテンシャルバリア領域13aを形成する強磁性絶縁体領域にEuSが使用され、Au/EuS/Al接合構造についてポテンシャルバリア領域13aの理想的な形状を求めた。図5中、符号 $\phi_1$ はAu/EuS接合界面間の障壁高さの平均値、符号 $\phi_2$ はEuS/Al接合界面の障壁高さの平均値、符号Wはポテンシャルバリア領域13aの障壁幅である。ポテンシャルバリア領域13aの障壁高さの平均 $\phi$ は $(\phi_1 + \phi_2) / 2$ で表わされる。実験結果によれば、障壁幅Wが17.6nmに対して、アップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ を選択的に注入するために必要な障壁高さの平均 $\phi$ は1.97eV、ダウンスピン偏極電子 $e_{\text{down}}$ の注入を阻止するために必要な障壁高さの平均 $\phi$ は2.33eVである。また、障壁幅Wが18.9nmに対して、アップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ を選択的に注入するために必要な障壁高さの平均 $\phi$ は1.84eV、ダウンスピン偏極電子 $e_{\text{down}}$ の注入を阻止するために必要な障壁高さの平均 $\phi$ は2.20eVである。このような実験結果から、強磁性絶縁体領域としてEuSが使用されたポテンシャルバリア領域13aにおいては、アップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ を選択的に注入しかつダウンスピン偏極電子 $e_{\text{down}}$ の注入を阻止することを目的とした場合、障壁幅Wは0.1-5.0nmの範囲に設定する。

#### 【0045】実施形態2

本実施形態2は、スピンバルブトランジスタの第1動作領域にMn酸化物を使用した、本発明の他の実施形態である。本実施形態に係るスピンバルブトランジスタは、第1動作領域12にペロブスカイト結晶構造を有するMn酸化物が使用される。前述の実施形態1において説明した複数の強磁性金属体領域12aと複数の非磁性金属体領域12bとを交互に配列した人工的な金属超格子薄膜に対して、Mn酸化物の結晶構造自体にGMR効果がある。本実施形態においてMn酸化物には $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $0.16 < x < 0.50$ ) が使用される。また、Mn酸化物としては他に $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ 、 $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ 、 $(\text{La}_{0.068}\text{Sn}_{0.937})_{1/2}\text{Sr}_{1/2}\text{MnO}_3$  のいずれかが使用できる。

【0046】第1動作領域12がペロブスカイト結晶構造で形成される場合には、基本的に同様なペロブスカイト結晶構造を有する結晶体で第2動作領域13、第3動作領域11がいずれも形成できる。製造プロセス的な表現をすれば、同様なペロブスカイト結晶構造を備えていれば、同一のエピタキシャル成長室において連続結晶成長が実現できる。本実施形態において、第2動作領域1

3は、いずれもペロブスカイト結晶構造を有する $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  からなる半導体領域13bと、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  からなる強磁性絶縁体領域のポテンシャルバリア領域13aとで形成される。半導体領域13bである $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  は互いに異なるスピン偏極方向を持つ複数のスピン偏極電子を第1動作領域12に注入する。ポテンシャルバリア領域13aである $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  は前記半導体領域13bから第1動作領域12にアップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ を選択的に注入する。第3動作領域11にはペロブスカイト結晶構造を有する $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$  からなる半導体領域が使用される。

【0047】図6は $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  の結晶の電子相図である。図6中、横軸は組成比xの割合を示し、縦軸は温度(K)を示す。符号 $T_F$ は反強磁性転移点、 $T_C$ は強磁性転移点、PIは常磁性絶縁体、PMは常磁性金属体、CIはスピンキャント絶縁体、FIは強磁性絶縁体、FMは強磁性金属体である。ポテンシャルバリア領域13aとしての $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  を使用する場合には強磁性絶縁体FIの領域が使用される。すなわち、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  のxの組成化は0.09-0.16の範囲に設定される。

【0048】このように構成されるスピンバルブトランジスタにおいては、第3動作領域11、第1動作領域12及び第2動作領域13（半導体領域13b及びポテンシャルバリア領域13a）を含むすべての動作領域が同様なペロブスカイト結晶構造において形成できる。

#### 【0049】実施形態3

本実施形態3は、前述の実施形態1に係るスピンバルブトランジスタにおいて特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子を選択的に第1動作領域に注入する第2動作領域の構造を代えた、本発明の他の実施形態である。図7は本発明の実施形態3に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピンバルブトランジスタの断面構造図、図8(A)は前記スピンバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図である。図7及び図8(A)に示すように、本実施形態に係るスピンバルブトランジスタの第2動作領域13は強磁性金属体領域13d及びポテンシャルバリア領域13cで形成される。強磁性金属体領域13dは特定方向のスピン偏極方向を持つスピン偏極電子、具体的にはアップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ を選択的に前記第1動作領域に注入する。図8(B)は強磁性金属体領域13dの状態密度図である。図8(B)に示すように、強磁性金属体領域13dはフェルミ準位面上の動ける電子がアップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ 、ダウンスピン偏極電子 $e_{\text{down}}$ のいずれか一方に限られる。すなわち、一方のスピン偏極電子（本実施形態においてはアップスピン偏極電子 $e_{\text{up}}$ に限られる）だけを第1動作領域12に選択的に注入できる。強磁性金属体領域13dはFe、Co、Niのいずれかで形成される。ポテンシャルバリア

領域13cは強磁性金属体領域13dから第1動作領域12に注入されるアップスピン偏極電子 $e_{up}$ の注入量を制御する。すなわち、ポテンシャルバリア領域13cは単なるアップスピン偏極電子 $e_{up}$ の注入量を制御する障壁として使用されるので、ポテンシャルバリア領域13cを形成する材料の選択範囲が拡張できる。ポテンシャルバリア領域13cは、例えば $MgO$ 、 $Al_2O_3$ のいずれかの非磁性絶縁体領域、又は $EuS$ 、 $EuO$ のいずれかの強磁性絶縁体領域で形成される。

#### 【0050】実施形態4

本実施形態4は、前述の実施形態1に係るスピバルブトランジスタにおいて第1動作領域12の強磁性金属体領域2aの膜表面に平行に電流を流すCIP (Current in Plane) 構造が採用された、本発明の他の実施形態である。図9(A)、図9(B)はそれぞれ本発明の実施形態4に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピバルブトランジスタの断面構造図である。

【0051】図9(A)に示すスピバルブトランジスタは、第3動作領域11と第2動作領域13との間に第1動作領域12が形成され、この第1動作領域12の金属人工格子薄膜を形成する複数の強磁性金属体領域12aと複数の非磁性金属体領域12bとがそれぞれ水平方向に交互に配列される。電流は強磁性金属体領域12aの表面に平行において強磁性金属体領域12a内部に流れる。

【0052】図9(B)に示すスピバルブトランジスタは、基板14の表面上に島領域の形状で互いに離間して形成された第3動作領域13eと第2動作領域13とを備え、この第3動作領域13eと第2動作領域13と間に第1動作領域12が形成される。

【0053】それぞれのCIP構造を採用するスピバルブトランジスタにおいては、前述の実施形態1に係るCPP構造を採用するスピバルブトランジスタのGMR効果に比べて若干は劣るものの、同様にGMR効果が改善できる。

#### 【0054】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、GMR効果を有する動作領域を持つトランジスタを備えた磁気抵抗デバイスにおいて、前記動作領域の磁気抵抗の変化率を向上できる。さらに、本発明は、前記磁気抵抗デバイスを利用する磁場センサにおいて、感度を向上でき

る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピバルブトランジスタの断面構造図である。

【図2】 前記スピバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図である。

【図3】 (A)は従来技術に係るスピバルブトランジスタの抵抗変化を説明するベース領域の概略構成図、

(B)、(C)はそれぞれ本実施形態に係るスピバルブトランジスタの抵抗変化を説明する第1動作領域の概略構成図である。

【図4】 (A)は第1動作領域の強磁性金属体領域と非磁性金属体領域との配列状態を示す概略構成図、(B)はCo薄膜の磁性を示す電子間に働く相互作用を実験的に求めた結果を示す図である。

【図5】 ポテンシャルバリア領域の形状を示す部分的なエネルギーバンド構造図である。

【図6】 本発明の実施形態2に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピバルブトランジスタの動作領域に使用される $LaSrMnO$ の結晶の電子相図である。

【図7】 本発明の実施形態3に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピバルブトランジスタの断面構造図である。

【図8】 (A)は前記スピバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図、(B)は強磁性金属体領域の状態密度図である。

【図9】 (A)、(B)はそれぞれ本発明の実施形態4に係る磁気抵抗デバイスに搭載されたスピバルブトランジスタの断面構造図である。

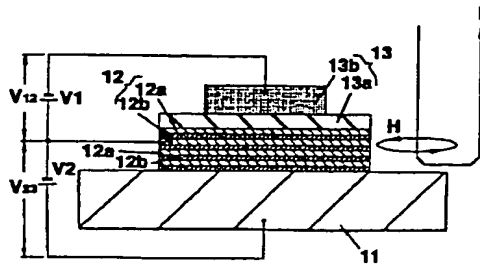
【図10】 従来技術に係るスピバルブトランジスタの断面構造図である。

【図11】 前記スピバルブトランジスタのエネルギーバンド構造図である。

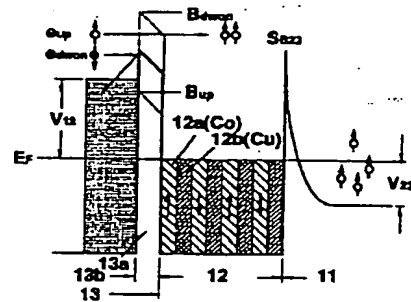
#### 【符号の説明】

11、13e 第3動作領域、12 第1動作領域、12a、13d 強磁性金属体領域、12b 非磁性金属体領域、13 第2動作領域、13a、13cポテンシャルバリア領域、13b 非磁性金属体領域又は半導体領域。

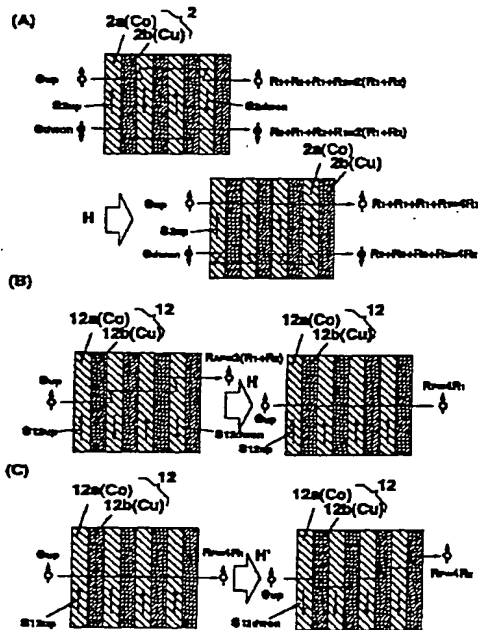
【図1】



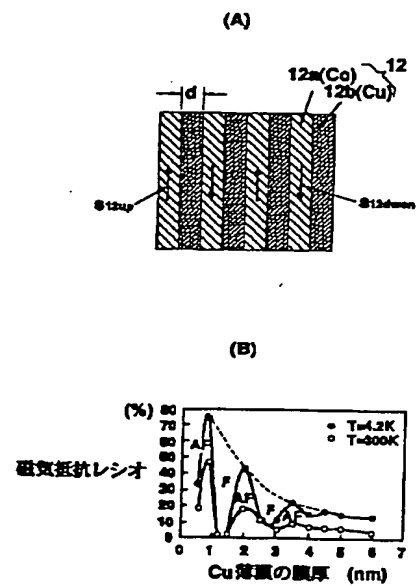
【図2】



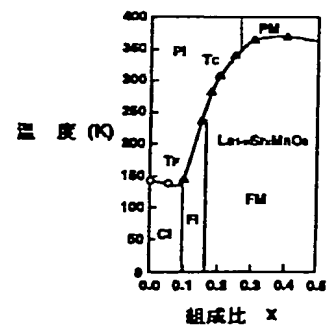
【図3】



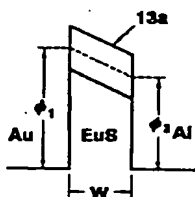
【図4】



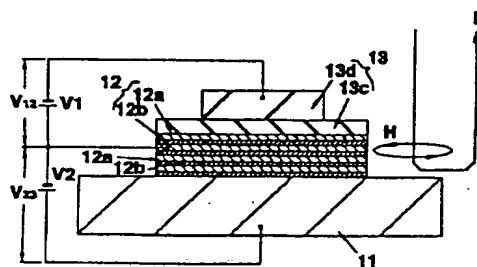
【図6】



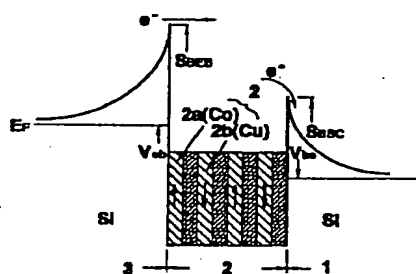
【図5】



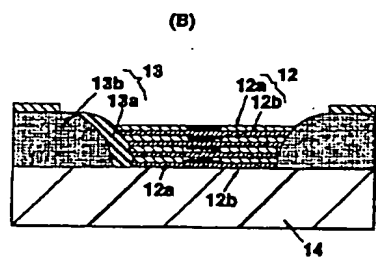
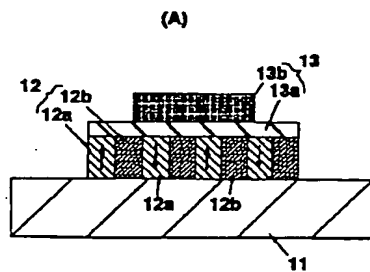
【図7】



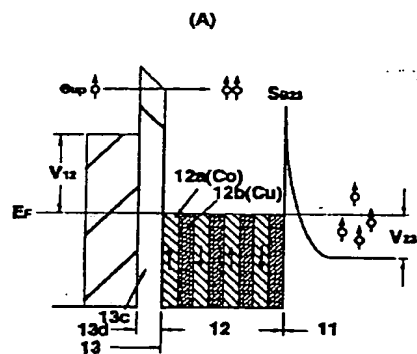
【図11】



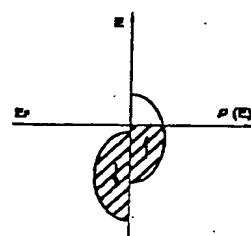
【図9】



【図8】



(B)



【図10】

